Digitaler Zwilling in der Industrie 4.0:
Ein Vorgehen zur Strukturierung relevanter Daten in der Automatisierungstechnik

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“ im Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fakultät für Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Bayram

Vorname: Neslihan


[redacted] [redacted]


[redacted] [redacted]

Prüfer:
Prof. Dr. Michael H. Breitner

Betreuer:
M. Sc. Antje Janssen
M. Sc. Denis Göllner
M. Sc. Tobias Klausmann

Hannover, den 21.02.2022

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.COM

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis....III
1 Einleitung....1
1.1 Motivation....1
1.2 Vorgehen....3
2 Theoretische Grundlagen....5
2.1 Industrie 4.0....5
2.2 Digitaler Zwilling....14
2.3 Automatisierungstechnik....15
3 Forschungsmethodik....17
3.1 Design Science Research....17
3.2 Literaturrecherche nach Webster und Watson....20
3.3 Experteninterview....21
3.4 Referenzmodellierung....24
4 Datenanalyse und Problemidentifikation....30
4.1 Literaturrecherche....31
4.2 Experteninterviews....44
5 Vorgehen zur Strukturierung relevanter Daten in der Automatisierungstechnik....48
5.1 Referenzmodell zur Informationsmodellierung....49
5.2 Vorgehensmodell zur Strukturierung relevanter Daten....51
5.2.1 Allgemeine Einordnung....51
5.2.2 Anforderungen an ein Vorgehensmodell....53
5.2.3 Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Strukturierung relevanter Daten in der Automatisierungstechnik....54
6 Anwendung im Automatisierungsunternehmen....57
7 Evaluation....66
7.1 Vorgehen der Evaluation....67
7.2 Ergebnisse der Evaluation....67
8 Diskussion....70
8.1 Diskussion der Ergebnisse....70
8.2 Empfehlungen für Forschung und Praxis....73
8.3 Limitation....74
9 Fazit und Ausblick....76
Literaturverzeichnis....78
Anhang....i
Anhang A: Interviewleitfaden Digitale Zwillinge....i
Anhang B: Transkripte Interview Digitale Zwilling....iii
Anhang B.1: Transkription Interview Digitale Zwillinge 1....iii
Anhang B.2: Transkription Interview Digitale Zwillinge 2....vi

Anhang B.3: Transkription Interview Digitale Zwillinge 3 ix
Anhang C: Interviewleitfaden Tools xiv
Anhang D: Transkripte Interview für die Auswahl relevanter Tools xv
Anhang D.1: Transkription Interview für die Auswahl relevanter Tools 1 xv
Anhang D.2: Transkription Interview für die Auswahl relevanter Tools 2 xviii
Anhang D.3: Transkription Interview für die Auswahl relevanter Tools 3 xx
Anhang E: Interviewleitfaden Fachexperte xxiii
Anhang F: Transkripte Interview Fachexperte xxiv
Anhang F.1: Transkription Interview Fachexperte 1 xxv
Anhang F.2: Transkription Interview Fachexperte 2 xxxii
Anhang F.3: Transkription Interview Fachexperte 3 xlvi
Anhang F.4: Transkription Interview Fachexperte 4 lv
Anhang G: Fragebogen zur Bewertung des Vorgehensmodells lx
Anhang G.1: Ausgefüllter Fragebogen Nr.1 lxxiv
Anhang G.2: Ausgefüllter Fragebogen Nr.2 lxxxviii
Anhang G.3: Ausgefüllter Fragebogen Nr.3 ci
Ehrenwörtliche Erklärung cxvi

1 Einleitung

Dieses einleitende Kapitel beginnt zunächst mit der Motivation für das Forschungsthema dieser Arbeit. Anschließend wird aus der Motivation heraus die Forschungsfrage und das Ziel der Arbeit abgeleitet. Abschließend erfolgt die Beschreibung des Vorgehen in der Arbeit.

1.1 Motivation

Die Industrie 4.0 gilt als ein wichtiges und aktuelles Thema der deutschen und auch internationalen Innovationsdebatte (Hirsch-Kreinsen, 2020, S.812). Die weltweit fortschreitende digitale Transformation hat neue Technologien und Möglichkeiten hervorgerufen (Pires et al., 2019). Die Industrie 4.0 wird mit Hilfe von Internet of Things (IoT), Cyber Physical Systems (CPS), Digitale Zwillinge, Big Data und weiteren Technologien vorangetrieben. Die Industrie 4.0 umfasst eine breite Palette von Konzepten wie der Smart Factory, in der verschiedene Technologien, wie autonome Systeme für die Herstellung von Produkten zum Einsatz kommen (Lasi et al., 2014). Die intelligente Vernetzung von Mensch, Maschine und Prozess, sowie die Verfügbarkeit von Informationen und Daten öffnet neue Türen (VDI, 2013, S.3).

Zugleich steht die Wirtschaft unter enormem Druck durch die Veränderungen des Marktes. Kürzere Produktionszeiten, kundenorientierte Produktion und Dienstleistungen, komplexere Produktentstehungsprozesse erfordern die Anpassung an die Gegebenheiten z.B durch flexiblere Produktionsanlagen (Kiefer et al., 2018). Wandlungsfähige Produktionssysteme haben einen großen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Technische Möglichkeiten, der im Unternehmen eingesetzten Maschinen und Anlagen, werden durch Änderungen der Software, Mechanik, Modifikation an die gewünschten Anforderungen angepasst (Weyrich et al., 2014).

„Daten sind das neue Gold der Automatisierungsbranche“, so heißt es in dem Beitrag von Braml et al.. Daten, die während der Herstellung anfallen, bilden neben dem Produkt, das Herzstück der modernen Fertigung (Braml et al., 2021). Mit der Verwendung von integrierten Informationssystemen besteht die Möglichkeit der unternehmensübergreifenden und gemeinsamen Nutzung von Daten in Wertschöpfungsprozessen. Standardisierte Datenschnittstellen ermöglichen den Informations- und Datenaustausch über Systemgrenzen hinweg (Schuh et al., 2017,

S.28).

Die Plattform Industrie 4.0 stellt die Verwaltungsschale vor, mit der Schnittstellen für die herstellerübergreifende Kommunikation ermöglicht wird. Sie wird als die „Umsetzung des digitalen Zwillings für die Industrie 4.0“ definiert (Industrie 4.0 Plattform). Dafür müssen kompatible Schnittstellen definiert und alle Daten einheitlich beschrieben werden, die von anderen digitalen Zwillingen auf gleicher Weise verstanden werden (Kuhn, T., 2017).

In einer Studie von Detecon wurden Unternehmen nach den Herausforderungen bei der Umsetzung von Digitalen Zwillingen befragt. Das Ergebnis der Befragung ist in dem folgenden Diagramm dargestellt.

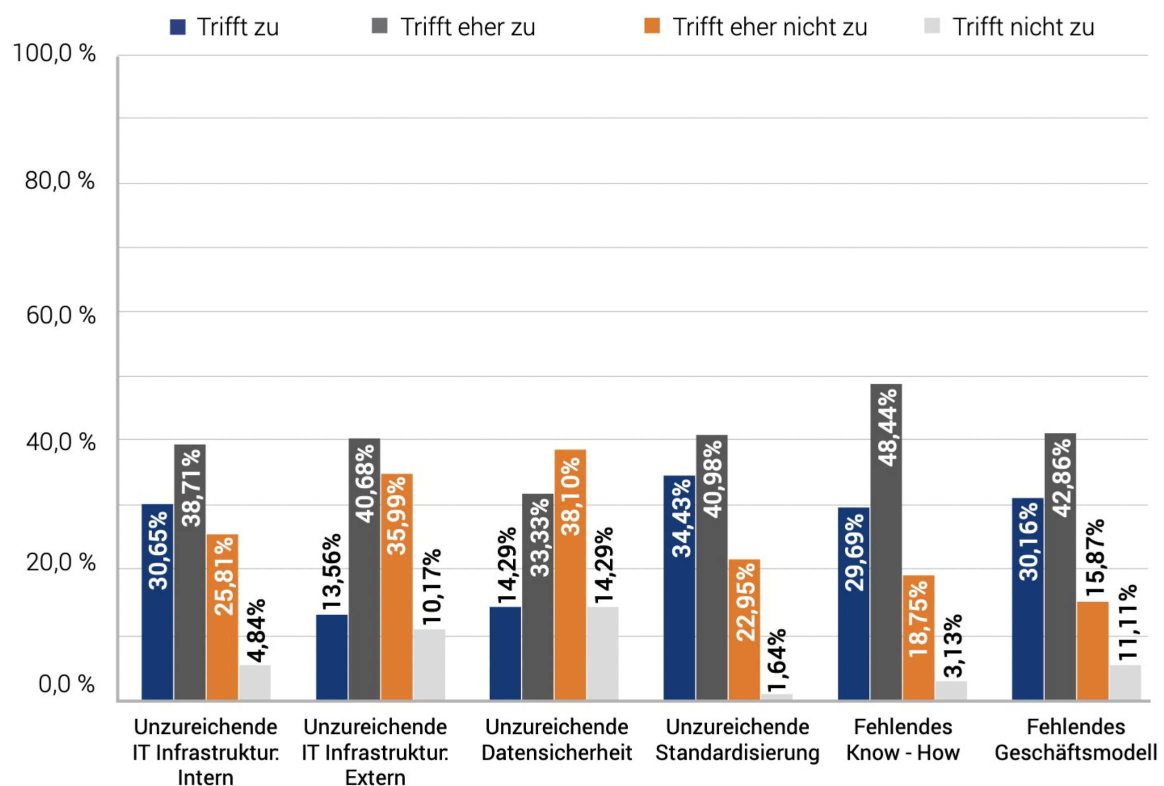


Abbildung 1: Technologische und organisatorische Herausforderungen bei der Umsetzung des Digitalen Zwillings
(Quelle: Weber und Grosser, 2019, S.22)

Mit der Zusammenfassung der Antwortmöglichkeiten von „trifft zu“ und „trifft eher zu“ ergeben sich folgende Daten: ca. 78% der Unternehmen sehen als größten Problemfaktor das fehlende Know How zur Umsetzung von Digitalen Zwillingen. Ca.

75% der Unternehmen fehlt es an Standardisierung. Ca. 73% bemängeln das fehlende Geschäftsmodell. Für ca. 69% der befragten Unternehmen stellt eine unzureichende Infrastruktur eine Herausforderung dar und ca. 54% stufen die IT Strukturen anderer als unzureichend ein (Weber und Grosser, 2019, S.21f).

Um zukünftig diesen Hindernissen entgegen zu wirken und einen Schritt in Richtung des Einsatzes digitaler Zwillinge zu ermöglichen, müssen Ansätze und Lösungsvorschläge gefunden werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird es als sinnvoll erachtet, die Grundlage für den Einsatz digitaler Zwillinge und die damit verbundene Voraussetzung standardisierter Daten, insofern zu legen, dass zunächst Daten in Unternehmen identifiziert und strukturiert werden.

Daraus ergeben sich die folgenden Forschungsfragen dieser Arbeit,

- wie sieht die Vorgehensweise zur Informationsflussarchitektur aus und

- wie lässt sich dieses Vorgehensmodell exemplarisch in einem Unternehmen der Automatisierungstechnik einsetzen.

Die vorliegende Arbeit soll mit der Entwicklung eines Vorgehensmodells die Strukturierung relevanter Daten in der Automatisierungstechnik ermöglichen und somit die Voraussetzung standardisierter Daten als Grundlage für den Einsatz digitaler Zwillinge schaffen.

1.2 Vorgehen

Die vorliegende Arbeit ist, neben der Einleitung und dem Fazit, in sieben Kapitel gegliedert. Im zweiten Kapitel „Theoretische Grundlagen“ wird beginnend mit der ersten industriellen Revolution, die Entwicklung bis zur vierten industrielle Revolution dargestellt. Es wird auf die wichtigen Basistechnologien der Industrie 4.0 eingegangen, um die Vielfältigkeit und Auswirkungen dieser näher zu bringen. Anschließend wird das Konzept des digitalen Zwillings vorgestellt, indem zunächst die Entstehung der Idee eines digitalen Zwillings erläutert und anschließend verschiedene Definitionen dargestellt werden. Im letzten Abschnitt des zweiten Kapitels wird die Automatisierungstechnik beschrieben.

Im dritten Kapitel werden die grundlegenden Methoden, die in dieser Arbeit zur

Beantwortung der Forschungsfrage verwendet wurden, erläutert. Beginnend mit einer Darstellung des Design Science Research nach Hevner et al. und der Beschreibung der Literaturrecherche nach Webster und Watson folgt die Erläuterung zur Durchführung von Experteninterviews. Das Kapitel schließt mit der Vorstellung der Entwicklung eines Referenzmodellen ab.

Das vierte Kapitel „Datenanalyse und Problemidentifikation" zeigt im ersten Unterkapitel die Ergebnisse der Literaturrecherche nach Webster und Watson auf. Im zweiten Unterkapitel wird, mit Hilfe, der in einem Automatisierungsunternehmen geführten Experteninterviews, die Aktualität der Thematik digitale Zwillinge beschrieben, das Problem und die sich ergebenden Schwierigkeiten ihres Einsatzes identifiziert.

Im fünften Kapitel wird das Vorgehensmodell zur Strukturierung relevanter Daten in der Automatisierungstechnik entwickelt. Im ersten Unterkapitel wird, anhand der Literaturrecherche und den, in Kapitel vier geführten, Experteninterviews, ein Referenzmodell, welches in das Vorgehensmodell eingebaut werden soll, erstellt. Danach folgt die allgemeine Beschreibung des Prinzips und die Anforderungen an ein Vorgehensmodell. Abschließend erfolgt die Entwicklung des Vorgehensmodells zur Strukturierung relevanter Daten in der Automatisierungstechnik.

Im sechsen Kapitel dieser Arbeit wird das entwickelte Vorgehensmodell in einem Automatisierungsunternehmen angewendet. Die einzelnen Schritte bei der Anwendung des Vorgehensmodells und das Ergebnis dieser Anwendung werden beschrieben.

Im siebten Kapitel wird das, in dieser Arbeit entwickelte Vorgehensmodell, anhand eines ausführlichen Fragebogens bewertet. Die Evaluation des Artefaktes bildet einen wichtigen Bereich des Forschungsprozesses ab. Das Vorgehensmodell wird auf seine Allgemeingültigkeit, Vollständigkeit, Einfachheit und Klarheit überprüft. Das Vorgehen der Evaluation wird in dem Kapitel geschildert und die Ergebnisse werden präsentiert.

Das achte Kapitel „Diskussion" beschäftigt sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit, indem diese interpretiert und diskutiert werden und der Bezug zur Literatur dargestellt wird. Anwendungsmöglichkeiten des Vorgehensmodells werden aufgezeigt und Empfehlungen für die Praxis und Forschung ausgesprochen. Abschließend erfolgt

die Darstellung der Limitationen dieser Arbeit.

Im letzten Kapitel dieser Arbeit wird die Forschungsfrage erneut aufgegriffen und die wichtigen Aspekte als Fazit zusammengefasst. Die Arbeit endet mit einem Ausblick.

9 Fazit und Ausblick

Die Unternehmen stehen heutzutage in Anbetracht der weltweit fortschreitende digitalen Transformation und den sich ergebenden Veränderungen des Marktes vor großen Herausforderungen. Verkürzte Produktlebenszyklen, kundenorientierte Produktion und Dienstleistungen, sowie komplexere Produktentstehungsprozesse erfordern eine flexible Anpassung an die Gegebenheiten. Durch den Einsatz von Digitalen Zwilling werden Prozesse in der gesamten Wertschöpfungskette neu definiert. Daten aus der realen Welt werden über Sensoren in die digitale Welt übertragen. Der digitale Zwilling ermöglicht durch Erstellung von digitalen Daten eine Datenkommunikation, Simulation und generiert Informationen über bevorstehende Wartungen. Fehler in den Abläufen können frühzeitig erkannt, Fertigungsprozesse effizienter gestaltet werden. Mit der Verwendung von integrierten Informationssystemen besteht die Möglichkeit der unternehmensübergreifenden und gemeinsamen Nutzung von Daten in Wertschöpfungsprozessen. Unternehmen müssen über standardisierte Datenschnittstellen verfügen, die den Informations- und Datenaustausch über Systemgrenzen hinweg ermöglichen. Alle wichtigen Daten müssen bereitgestellt und von anderen digitalen Zwillingen auf gleicher Weise verstanden werden.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die folgenden Forschungsfragen zu beantworten.

- wie sieht die Vorgehensweise zur Informationsflussarchitektur aus und

- wie lässt sich dieses Vorgehensmodell exemplarisch in einem Unternehmen der Automatisierungstechnik einsetzen.

In der Arbeit wurde ein Vorgehensmodell entwickelt, welches die Strukturierung relevanter Daten in der Automatisierungstechnik ermöglichen und somit die Voraussetzung standardisierter einheitlicher Daten schaffen soll.

Gemäß den Vorgaben des Design Science Research wurde zu Beginn eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Anhand der Literaturrecherche und den Experteninterviews in Kapitel 4 wurde das Problem identifiziert von Seiten der Literatur als auch Praxis. In Kapitel 5 wurde das Artefakt entwickelt. Anhand eines Vorgehensmodell soll die Strukturierung von relevanten Daten in der Automatisierungstechnik ermöglicht werden. Das Vorgehensmodell wurde

exemplarisch an einem Unternehmen der Automatisierungsbranche angewendet. Das Ergebnis der Anwendung ist ein Informationsflussarchitektur, welche die einzelnen Verbindungen der Tools und Datenflüsse eines Unternehmens aufzeigt. Die Bewertung des Vorgehensmodells erfolgte in Kapitel 7 anhand der Beantwortung von Fragebögen durch die Experten des Unternehmens in dem das Modell angewendet wurde. Anschließend wurden die Ergebnisse dieser Arbeit in Kapitel 8 diskutiert.

Mit dem entwickelten Vorgehensmodell ist zum heutigen Stand die Modellierung und Darstellung von Informationsflüssen und die damit einhergehende Strukturierung relevanter Daten in einem Unternehmen der Automatisierungsbranche möglich. Der Mehrwert liegt vor allem in der Allgemeingültigkeit des Vorgehensmodells und ist im Rahmen vergleichbarer Projekte einsetzbar. Alle wichtigen Schritte, von der Ausgangslage bis zur Erreichung der Ziele, sind so definiert, dass sie eine einfache und klare Anwendung ermöglichen.

In der Literatur besteht in weiten Bereichen ein Konsens über die Definition des digitalen Zwillings. Der Großteil der Definitionen betrachtet den digitalen Zwilling als digitale Repräsentation physischer Assets. Mit ihrem Einsatz können neue Prozesse entstehen und gesamte Wertschöpfungsketten neu definiert werden. Der Einsatz des digitalen Zwillings ermöglicht Unternehmen Fehler in den Abläufen frühzeitig zu erkennen, Fertigungsprozesse effizienter zu gestalten und hochwertigere Produkte herzustellen. Allerdings ist ein Informationsaustausch über gemeinsame Daten erforderlich. Je mehr digitale Zwillinge miteinander in Verbindung stehen und kommunizieren, desto mehr Daten werden gesammelt und übertragen. Diese neuen Kommunikationsmöglichkeiten eröffnen der Industrie völlig neue Anwendungsmöglichkeiten. Es gilt, neben technischen Anpassung, auch organisatorische Änderungen vorzunehmen und den Einsatz von digitalen Zwilling klar zu strukturieren und zu planen. Die Zukunft wird zeigen, dass das Konzept digitale Zwillinge noch relativ am Anfang ihrer Entwicklung steht. Es bleibt abzuwarten, welche grenzenlosen Möglichkeiten und Potenziale sich noch durch die fortschreitende Digitalisierung und den Einsatz von digitalen Zwillingen bieten werden.